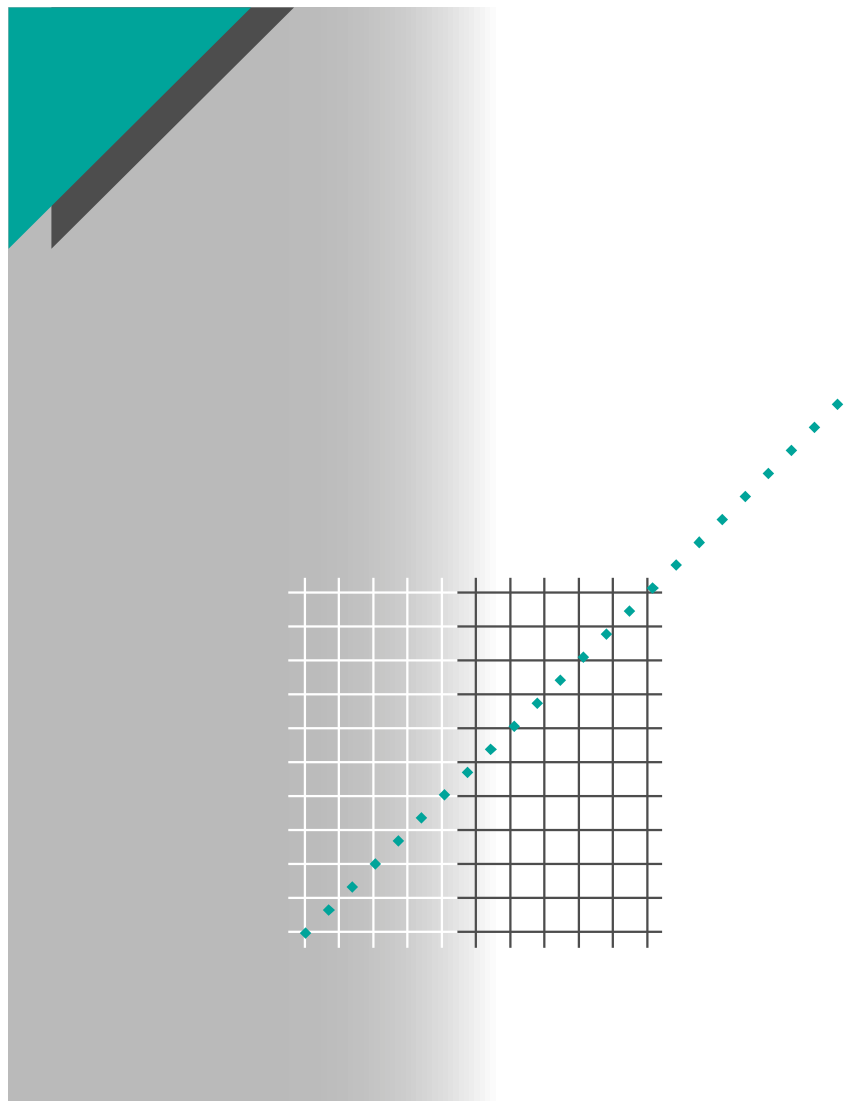


Technisches Heft Nr. 182

Verhalten von NS-LS gegenüber Oberwellenströmen



Merlin Gerin

Modicon

Square D


Telemecanique

Die Technischen Hefte sind eine Sammlung von Dokumenten, die für jene bestimmt sind, die weitergehende Informationen suchen, als sie in den Leitfäden, Katalogen und Datenblättern enthalten sind.

Für Spezialisten und Techniker sowie für Lehrer und Studenten bilden diese Hefte ein Hilfsmittel für die Schulung in den neuen Techniken und Technologien auf den Gebieten der Elektrotechnik und Elektronik.

Hier finden Sie insbesondere die Grundlagen, welche zum besseren Verständnis für die in den Anlagen, Systemen, Komponenten und Einrichtungen für den Transport, die Verteilung und/oder die Bewirtschaftung der elektrischen Energie auftretenden Erscheinungen beitragen.

Eine Liste der verfügbaren Technischen Hefte erhalten Sie auf Verlangen.



Nr. 182

Verhalten von NS-Leistungsschaltern gegenüber Oberwellen-, Impuls- und zyklischen Strömen

Autor: Michel Collombet

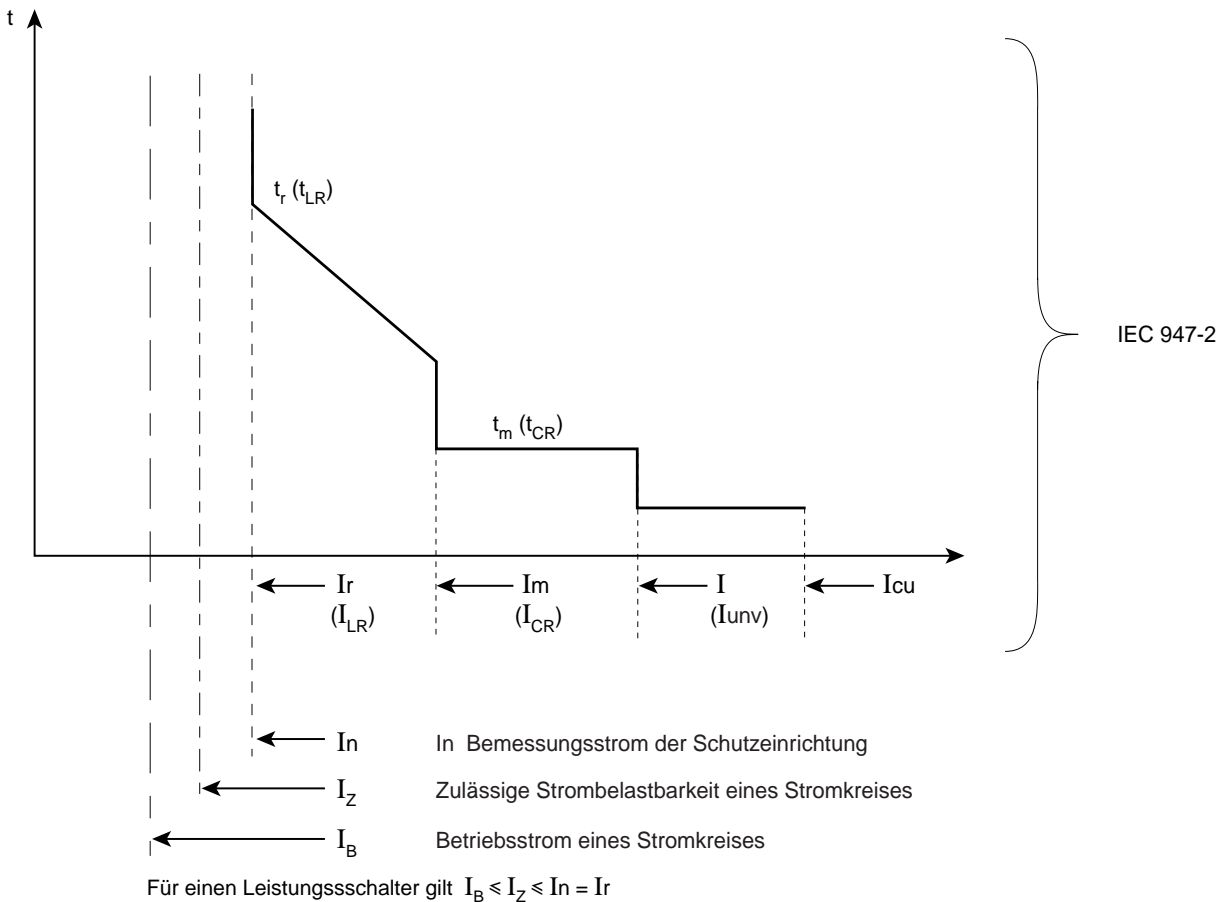
Als Ingenieur INPG seit 1968 stiess er 1975 als Verantwortlicher für die digitalelektronische Entwicklung in der Abteilung SES (Elektronische Sicherheitssysteme) zur Schneider-Gruppe. Heute ist er Leiter der elektronischen Entwicklung in der Abteilung DBTP (Niederspannungs-Starkstromverteilung).

Autor: Bernard Lacroix

Nachdem er 1974 das Diplom eines Ingenieur ESPCI (Ecole Supérieure de Physique et Chimie Industrielle, Paris) erworben hatte, arbeitete er 5 Jahre bei Jeumont Schneider, wo er unter anderem an der Entwicklung des Traktionsstromrichters für den TGV beteiligt war. Nach seinem Eintritt 1981 bei Merlin Gerin war er nacheinander Verkaufingenieur für Wechselrichter und Verkaufsleiter im Sektor Personenschutz. Seit 1991 ist er für die Vorschriften auf dem Gebiet der NS-Starkstromverteilung verantwortlich.

Lexikon

- ASIC** Application-Specific Integrated Circuit.
IIR Infinite Impulse Response.
GFP Ground Fault Protection.
I Auslösestrom des unverzögerten magnetischen Kurzschlussauslösers.
I_{cu} Maximales Ausschaltvermögen eines Leistungsschalters.
I_m Einstellstrom des kurzverzögerten magnetischen Kurzschlussauslösers (I_{CR}).
I_r Einstellstrom des langverzögerten thermischen Überstromauslösers (I_{LR}).
t_m Verzögerungszeit des kurzverzögerten magnetischen Kurzschlussauslösers (t_{CR}).
t_r Verzögerungszeit des langverzögerten thermischen Überstromauslösers (t_{LR}).



Verhalten von NS-Leistungsschaltern gegenüber Oberwellen-, Impuls- und zyklischen Strömen

Inhaltsverzeichnis

1. Der NS-Leistungsschalter	Aufgabe eines Leistungsschalters	S. 4
	Technologie und Aufbau eines NS-Leistungsschalters	S. 4
	Strommessung	S. 5
2. Oberwellenströme	Theoretische Grundlagen der Oberwellenströme	S. 8
	Erzeuger von Oberwellenströmen	S. 8
	Behandlung der Oberwellenströme durch die elektronischen Auslöser von NS-Leistungsschaltern	S. 10
	3. Impuls- und zyklische Ströme	Beispiele von Einschaltströmen
	Behandlung der Impulsströme durch die elektronischen Auslöser von NS-Leistungsschaltern	S. 11
	Lasten mit zyklischen Strömen	S. 12
	Behandlung der zyklischen Ströme durch die elektronische Auslöser von NS-Leistungsschaltern	S. 13
4. Elektronische Leistungsschalter: erweiterte Möglichkeiten	Einstellungsmöglichkeiten der elektronischen Leistungsschalter	S. 14
	Beiträge der Digitaltechnik zur Betriebssicherheit	S. 14
	Kommunikation über einen Bus	S. 15
	Normen für NS-Leistungsschalter	S. 15
	Die von den elektronischen Leistungsschaltern gebotenen neuen Möglichkeiten	S. 15
5. Schlussfolgerung		S. 16
6. Literaturverzeichnis		S. 16

Die Entwicklung der Verbraucher als Ergebnis der technischen Fortschritte des letzten Jahrzehnts auferlegt der Stromversorgung zusätzliche Einschränkungen. So mussten die Schutzeinrichtungen insbesondere auf die folgenden drei Erscheinungen abgestimmt werden:

- Hohe Oberwellenströme als Folge der Zunahme der Leistungselektronik (Gleichrichter, pulsgesteuerte Umrichter usw.).

- Durch das Einschalten von Verbrauchern mit hohem Einschaltstrom wie zum Beispiel kapazitive Lasten, NS/NS-Transformatoren usw. bewirkte Impulsströme.

- Zyklische Ströme als Folge der starken Verbreitung der Automatisierung der Lasten mit sich wiederholenden Arbeitszyklen (Schweißroboter, Erwärmung durch Wellenfolgen).

Der Zweck des vorliegenden Technischen Heftes besteht darin, zu zeigen, wie die elektronische Auslöser diese neuen Anforderungen berücksichtigen und die Tendenz haben, die magnetothermischen Auslöser zu verdrängen, und zudem, wie sie dank den Möglichkeiten der Digitaltechnik "intelligente und kommunizierende" Sensoren/Aktoren geworden sind.

1. Der NS-Leistungsschalter

1. Aufgabe eines Leistungsschalters

Die Hauptaufgabe eines Leistungsschalters ist der Schutz der elektrischen Anlage und der nachgeschalteten Kabel gegen anormale Betriebsbedingungen in der Form von Überströmen und Kurzschlüssen. Um diese Aufgabe wirksam erfüllen zu können, muss der Auslöser des Leistungsschalters die Entwicklung auf dem Gebiet der Verbraucher berücksichtigen. Diese Entwicklung ist gekennzeichnet durch:

- Eine zunehmende «Verseuchung» mit Oberwellen.

Die Entwicklung der Leistungselektronik und somit von nichtlinearen Lasten, wie Informationsverarbeitungsmaschinen, Gleichrichter, Reglerschaltern, Choppem usw. und die technische Entwicklung der Verbraucher wie Entladungslampen, Leuchtstofflampen usw. haben das Ausmass der Oberwellenströme in den Stromversorgungsnetzen erhöht.

- «Impuls»-Ströme, die zumeist von herkömmlichen und neuen Lasten mit hohen Einschaltströmen erzeugt werden:

- Kondensatoren für die Kompensation des $\cos \varphi$ (dessen Referenzwert sich erhöht hat) und NS/NS-Transformatoren,
- jedoch auch Gleichrichter mit Kondensatoren an der Einspeisestelle, die immer mehr Verbreitung finden (Lampen mit elektronischem Starter, Computer usw.).

- «zyklisch» gesteuerte Verbraucher. Die fortschreitende Automatisierung bringt öfter sich wiederholende Einschaltungen von Verbrauchern wie zum Beispiel Motoren in Prozessen, Produktionsrobotern, Wärmeregulungen durch Wellenfolgen usw. mit sich. Parallel zu dieser Entwicklung hat sich die Forderung nach einer besseren Kontinuität der Versorgung verstärkt. Somit gilt:

- Um Spannungsausfälle zu verhindern und die Kontinuität der Versorgung zu verbessern, müssen Ersatzstromquellen wie zum Beispiel Notstromaggregate installiert werden.

Diese haben charakteristische Eigenschaften, welche die Schutzeinrichtungen berücksichtigen müssen, wie zum Beispiel eine höhere Quellenimpedanz, was die Störungen infolge von Oberwellenströmen verstärkt sowie die Werte der Fehlerströme reduziert, weshalb die Schutzeinrichtungen anders eingestellt werden müssen.

- Um unerwünschte Abschaltungen zu verhindern, um die Anforderungen in bezug auf Sicherheit und Komfort im tertiären Sektor zu erfüllen, sowie um die mit Stromunterbrüchen in der Industrie verbundenen Kosten zu vermeiden, ist es wesentlich, nur dann abzuschalten, wenn eine tatsächliche Gefahr besteht.

Technologie und Aufbau eines NS-Leistungsschalters

Leistungsschalter von 1 bis 6300 A finden in NS-Anlagen eine breite Anwendung. Für deren Auslöser gibt es zwei Technologien:

- Magnetothermische Auslöser.

Vor allem für Schalter in Wohngebäuden und in der Industrie für niedrigere Bemessungsströme. Bei Geräten des modularen Typs ist der Auslöser in den Leistungsschalter integriert.

- Elektronische Auslöser.

Früher ausschliesslich für Schalter mit hohen Bemessungsströmen verwendet. Die Entwicklung geht eindeutig in Richtung auf diesen Auslösertyp (siehe Abb. 1), denn diese Lösung bietet eine hohe Flexibilität und wird immer erschwinglicher.

Die Anwendung der Digitaltechnik, insbesondere der Einsatz von einfachen spezifischen integrierten Schaltungen (ASICs), gestattet

- die Herstellung von Universal-Leistungsschaltern, die mehr Einstellmöglichkeiten bieten,

- die Verarbeitung von mehr Informationen,

- die Sicherstellung der nötigen Kommunikation mit der Leittechnik der Anlage.

Magnetothermischer Auslöser

Dieser Auslöser enthält ein Bimetall und eine Elektromagnetspule, die normalerweise in Serie mit dem zu schützenden Kreis geschaltet sind. Das Bimetall spricht desto schneller an, je höher der Strom ist. Die Spule spricht erst bei hohen Überströmen nach dem Prinzip des Elektromagneten praktisch unverzögert an.

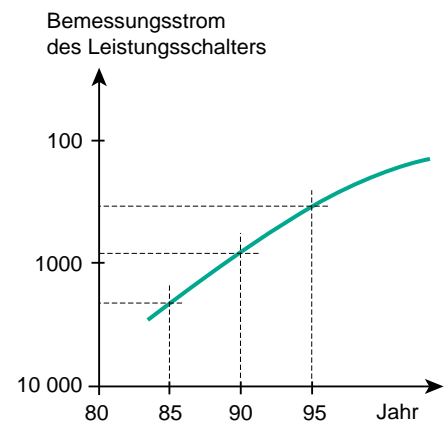


Abb. 1: Entwicklung der elektronischen Auslöser.

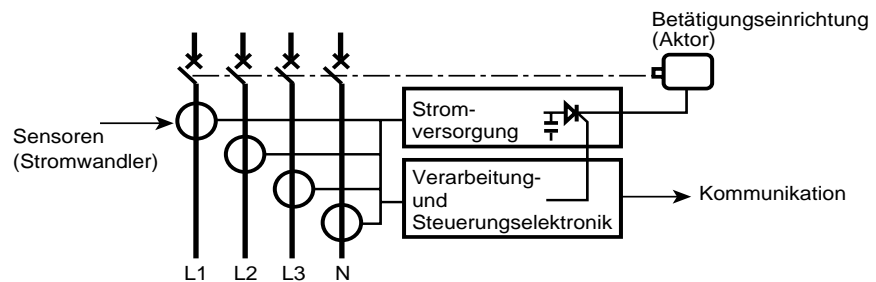


Abb. 2: Bauelemente eines elektronischen Auslösers.

Elektronischer Auslöser

Dieser Auslöser enthält Sensoren, eine Verarbeitungs- und Steuerungselektronik und eine Betätigungseinrichtung (Aktor) (siehe Abb. 2).

■ Sensoren

Die Stromsensoren liefern einerseits ein Abbild des zu messenden Stroms und andererseits den Strom für die Speisung des Auslösers (Auslöser mit Eigenstromversorgung).

Da diese Sensoren diese Doppelfunktion haben (Messung und Stromversorgung des Auslösers), verwenden Sie einen magnetischen Kreis («Eisen-Stromwandler», SW).

■ Informationsverarbeitung.

Diese Verarbeitung umfasst schematisch die folgenden Funktionalitäten (siehe Abb. 3):

□ Funktion ①: Digitalisierung des vom Sensor gelieferten Signals mit Hilfe eines Analog-Digital-Umsetzers, um den Wert des Stroms in Echtzeit zu verfolgen.

□ Funktion ②: Kompensation der Sättigung der SW (falls erforderlich). Die Magnetkern-SW können bei hohen Stromwerten gesättigt werden, welche Erscheinung bei erhöhter Temperatur noch verstärkt wird (siehe Abb. 4).

□ Funktion ③: Berechnung des Effektivwertes des Primärstroms.

□ Funktion ④: Vergleich des Effektivwertes mit den vom Anwender eingestellten Auslösewerten. Je nach dem Wert erfolgt dieser Vergleich mit oder ohne Zeitverzögerung. Bei Überschreitung des Auslösewertes sendet die Elektronik einen elektrischen Befehl an einen Aktor, der diesen Befehl in eine mechanische Auslösung des Leistungsschalters umwandelt.

■ Aktor.

Die Problematik des Aktors ist, sofort sehr hohe Kräfte zu entwickeln, ohne jedoch viel Strom zu verbrauchen. Es handelt sich darum, eine Kraft von einigen Newton über einige Millimeter

zu produzieren, dass sind einige Joule während einigen Millisekunden oder einige hundert Watt!

Deshalb muss der Aktor einen sehr hohen Wirkungsgrad haben. Dies schliesst die Verwendung von Elektromagneten (Spulen) aus und erfordert die Anwendung von Energiespeichersystemen.

Dadurch wird die ultraschnelle Auslösung des Leistungsschalters unter allen Umständen möglich.

Strommessung

Magnetothermischer Auslöser

Bei diesem Auslösertyp liefert das Bimetall effektiv keine Stromwerte, sondern der Auslöser reagiert thermisch und mechanisch auf den Strom.

■ Thermisch

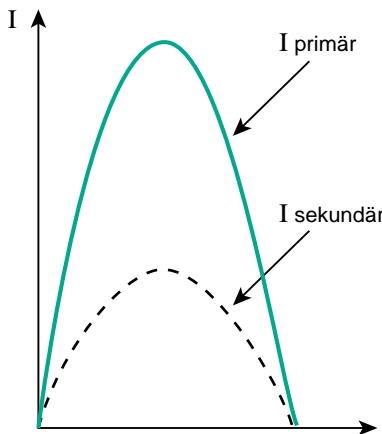
Die Erwärmung eines Bimetalls folgt dem gleichen Prinzip wie die Erwärmung eines Leiters, d.h. die Temperaturerhöhung ist proportional zur von einem Konstanten Strom (I) während einer bestimmten Zeit (t) zugeführten Energie ($J = RI^2t$). Die Auslösung

erfolgt somit durch eine Energie J_0 . Daraus ergibt sich eine Beziehung $t = f(I)$. Diese ist normativ (IEC 947-2) durch einen speziellen Punkt (I,t) gekennzeichnet, der einem Überstrom von 30% während 2 Stunden entspricht. Dieser Parameter bestimmt das Bimetall und somit den maximalen Einstellstrom des thermische Auslösers.

In der Praxis unterscheidet man □ Bimetalle mit direkter Beheizung für kleine Leistungsschalter. Der durch den Pol des Leistungsschalters fließende Strom fließt ebenfalls vollständig durch das Bimetall. Die Zeitkonstante des Bimetalls ist in diesem Fall klein und mit derjenigen der geschützten Kabel vergleichbar.

□ Bimetalle mit indirekter Beheizung für grosse Leistungsschalter. Ein vom zu überwachenden Strom durchflossener Leiter wird in unmittelbarer Nähe des Bimetalls angeordnet. Der Abstand, der eine thermische Impedanz bewirkt, führt zu einer Verzögerung der Erwärmung des Bimetalls, wodurch sich deren Zeitkonstante erhöht. Diese Zeitkonstante bleibt jedoch in der Regel

a) Abtastung und Digitalisierung des Signals



b) Sättigungskorrektur

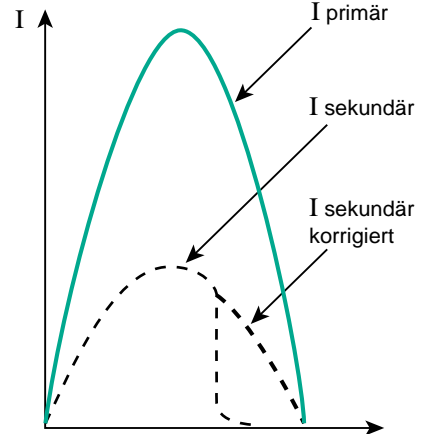


Abb. 4: Abtastung und Korrektur der eventuellen Sättigung der Stromwandler.

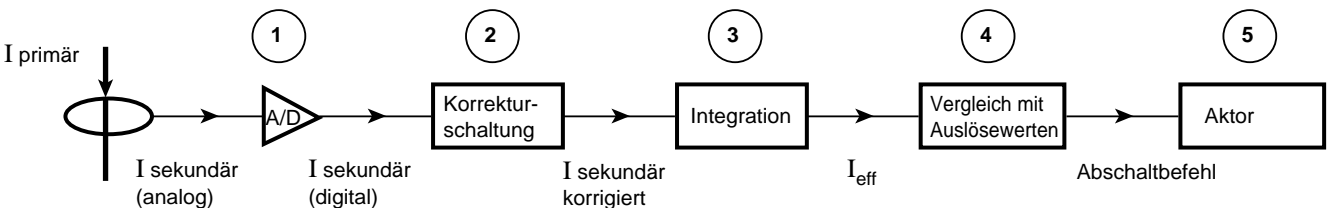


Abb. 3: Blockschema.

wesentlich niedriger als jene der geschützten Kabel.

In beiden Fällen kann die thermische Zeitkonstante des Bimetalls nicht eingestellt werden.

■ Magnetisch

Bei einem Kurzschluss erzeugt der durch die Spule fließende Fehlerstrom ein Magnetfeld, das genügt, um einen Anker anzuziehen. Dieser gibt einen Federmechanismus frei und bewirkt dadurch ein bruskes Öffnen der Kontakte.

Die Einstellung des Auslösestroms erfolgt über den Luftspalt.

Oberhalb des gewählten Auslösestroms ist die Auslösezeit ziemlich konstant (wenige Millisekunden bis 50 Millisekunden) (siehe Abb. 5).

Die magnetothermischen Auslöser messen den Wert des überwachten Stroms nicht.

Elektronischer Auslöser

■ Thermischer Schutz (Langverzögerung).

Der digitale Auslöser verwendet das Erwärmungs- und Abkühlungsmodell eines Leiters.

Er **modelliert** die Temperatur des Leiters, indem er seine Erwärmung in Echtzeit aufgrund seiner thermischen Gleichung berechnet. Eine gute Annäherung besteht darin, anzunehmen, dass die Erwärmung und Abkühlung eines Kabels zwischen t und $t + dt$ nach den folgenden physikalischen Prinzipien erfolgt:

□ Erwärmung:

Diese ist der Resultat der Zufuhr von Kalorien vor allem durch die Joulesche Wärme: $A i^2 dt$, wobei A eine vom Widerstand, von der Masse und von der spezifischen Wärme des Leiters abhängige Konstante ist.

□ Abkühlung:

Diese ist das Resultat von Wärmeverlusten durch Leitung, Konvektion und Strahlung.

Diese Verluste sind praktisch proportional zur Temperaturdifferenz zwischen dem Leiter und der Umgebung, d.h. der Erwärmung θ . Sie betragen insgesamt $-\lambda \theta dt$, wobei λ von den physikalischen und geometrischen Eigenschaften der Kabelinstallation abhängt. Somit hat die thermische Gleichung des Kabels die folgende Form: $d\theta = A i^2 dt - \lambda \theta dt$ oder auch

$$\tau \frac{d\theta}{dt} + \theta = A i^2 t \quad (1)$$

wobei $\tau = 1/\lambda =$ thermische Zeitkonstante des Leiters.

Durch digitale Abtastung mit der Frequenz f – wobei $dt = 1/f$ – erhält man eine zu (1) äquivalente numerische Gleichung:

$$\theta_{t+dt} = [1-\alpha] \theta_t + \beta i^2 t$$

Mit $d\theta = \theta_{t+dt} - \theta_t$,

$$\alpha = 1/\tau f \text{ et } \beta = A dt = A/f$$

$$\text{somit } \theta_{k+1} = [1-\alpha] \theta_k + \beta I_k^2 \quad (2)$$

wenn die Messung im Moment t die k -te und die Messung im Moment $t + dt$ die $k + 1$ -te Messung ist.

Die Auflösung dieser numerischen Gleichung ermöglicht **somit eine genaue Modellierung der Leitererwärmung**.

Folglich ist die Gleichung (2), welche die durch Eichung berechnete Temperatur darstellt, nichts anderes als die numerische Übertragungsfunktion eines Tiefpassfilters 1. Ordnung (siehe Abb. 6), an den das Eingangssignal I_k^2 angelegt ist, d.h.:

$$S_{k+1} = S_k + \gamma [I_k^2 - \gamma S_k] \\ = [1-\gamma] S_k + \gamma I_k^2$$

S_{k+1} ist der Effektivwert I_{eff} des Stromes nach $k + 1$ Proben.

Deshalb liefert ein solches Filter die Kabeltemperatur lediglich in der Form des äquivalenten Effektivwertes des Stroms.

□ Vorteil der Digitaltechnik:

– Sie gestattet eine sehr einfache

Berechnung von I_k^2 .

– Sie ermöglicht die Berechnung des Effektivwertes I_{eff} des Stroms und damit der Erwärmung über eine Zeitperiode, die mit den Zeitkonstanten der Leiter (die zwischen einigen Minuten und mehreren Stunden liegen, da die Leiter je nach größe verschiedene Wärmeleitwiderstände (τ) haben) kompatibel ist. Diese Eigenschaft ist in das integrierende IIR-Filter des Berechnungsalgorithmus integriert. Die Zeitkonstante wird durch die Dimensionie-

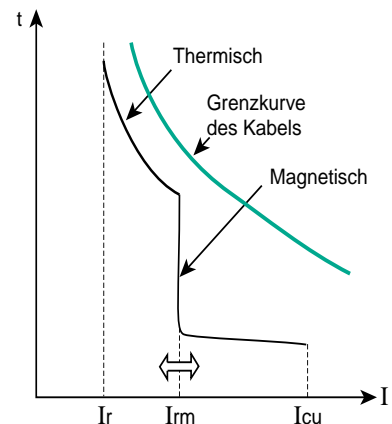
rung des Leistungsschalters festgelegt, weil diese mit dem Querschnitt und dem Wärmeleitwiderstand der zu schützenden Kabel zusammenhängt.

– Die Echtzeit-Verarbeitung der Gleichung macht diese Berechnung unabhängig von der Netzfrequenz. Diese Behandlung der Erwärmung, die eine Verfolgung der Erwärmungen und Abkühlungen der Leiter gestattet, wird auch «thermisches Gedächtnis» des elektronischen Auslösers genannt.

■ Realisierung des thermischen Schutzes: Langverzögerung (Long Retard, LR) und thermisches Gedächtnis.

Das durch die Gleichung (2) gegebene thermische Verhalten eines Kabels entspricht auch der Langverzögerungsfunktion des elektronischen Leistungsschalters. Diese schützt die Kabel und Verbraucher gegen Überströme.

Der Wert der Temperatur θ oder ihres durch numerische Filterung berechneten äquivalenten Stroms I_{eff} wird mit dem eingestellten Langverzögerungsauslösewert verglichen, der mit dem zulässigen Grenzwert θ_m verknüpft ist



I_r = Einstellstrom des thermischen Auslösers
 I_{rm} = Einstellstrom des magnetischen Auslösers
 I_{cu} = Maximales Abschaltvermögen

Abb. 5: Auslösekennlinie eines magnetothermischen Leistungsschalters.

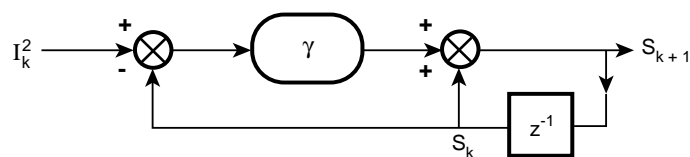


Abb. 6: Filterungsalgorithmus des digitalen Tiefpassfilters.

(siehe Abb. 7), wodurch das digitale Äquivalent zur Funktion des Bimetalls realisiert wird.

Die dauernde Kenntnis des Temperaturäquivalents des Kabels bietet ausser der Nichtüberschreitung von θ_m neue Möglichkeiten für den Schutz der Last und des Kabels, wie:

□ Überstromanzeige und Überwachung des geschützten Abgangs.

Eine Anzeige ist möglich, sobald der Einstellstrom oder bestimmte eingestellte Auslöseströme überschritten werden.

Damit kann die Belastung des Abgangs überwacht werden. Der Betreiber kann dabei einer Abschaltung infolge von Überstrom zuvorkommen, indem er einen weniger wichtigen Abgang entlastet. Informationen dieser Art machen den Weg frei in Richtung auf Verteilungsautomatiken.

□ Speicherung der Erwärmung nach dem Abschalten der Speisung.

Wenn ein Überstrom die Abschaltung des Leistungsschalters bewirkt oder wenn sich eine Unterbrechung der Speisung ereignet (zum Beispiel

Übergang auf eine Ersatzstromquelle), wird die Abkühlung weiter verfolgt. Die Überwachung ist hier jedoch anders, da die Elektronik nicht mehr gespeist wird. Vom Moment der Unterbrechung an wird der zeitliche Verlauf der Temperatur der Leiter durch die Entladespannung einer Schaltung mit sehr hoher Zeitkonstante (die der thermischen Zeitkonstante der Leiter entspricht) modelliert.

Wenn nach dem Einschalten des Leistungsschalters oder der Last wieder Strom fliesst, übernimmt die Elektronik des Auslösers die Restspannung, die im Filterungsalgorithmus, der die Leitererwärmung modelliert, als neue Anfangstemperatur der Leiter verwendet wird.

■ Kurzschlusschutz (Court Retard, CR)

Die Kurzverzögerungsfunktion schützt das Netz gegen hohe Überströme (in der Stromverteilung in der Regel von der Grössenordnung $10 I_n$ und vom Anwender einstellbar).

Sie wird auf dieselbe Weise wie der Langverzögerungsschutz durch

Filterung realisiert, der Effektivwert des Stroms wird jedoch über eine Zeitperiode (einige Millisekunden) verarbeitet, die der für diese Funktion erforderlichen Eingriffsgeschwindigkeit entspricht. Eine vom Anwender einstellbare absichtliche Verzögerung ist ebenfalls in die Informationsverarbeitung eingebaut (siehe Abb. 8).

■ Realisierung des unverzögerten Schutzes

Der unverzögerte Schutz schützt gegen satten Kurzschlüsse. Die Verarbeitung erfolgt aufgrund des nicht gefilterten Scheitelwertes. Es ist keine Verzögerungsfunktion vorhanden.

Der langverzögerte, kurzverzögerte und unverzögerte Schutz ergeben zusammen «die» Auslösekennlinie eines Leistungsschalters mit elektronischer Auslösung (siehe Abb. 9).

Nach diesen funktionellen Einzelheiten wollen wir nun untersuchen, wie ein Leistungsschalter mit elektronischem Auslöser gestörte Ströme oder besondere Anwendungen behandelt.

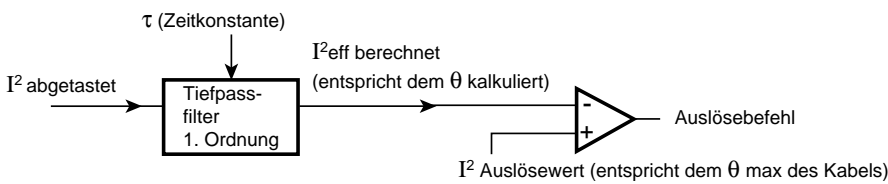


Abb. 7: Realisierung der Langverzögerungsfunktion LR.

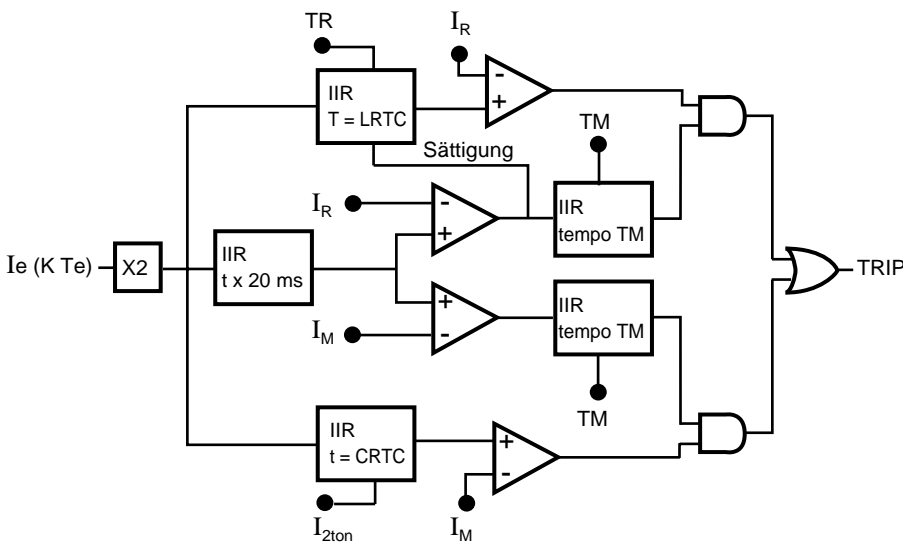


Abb. 8: Gesamt-Blockschema der Langverzögerungs- und KurzverzögerungsfILTER.

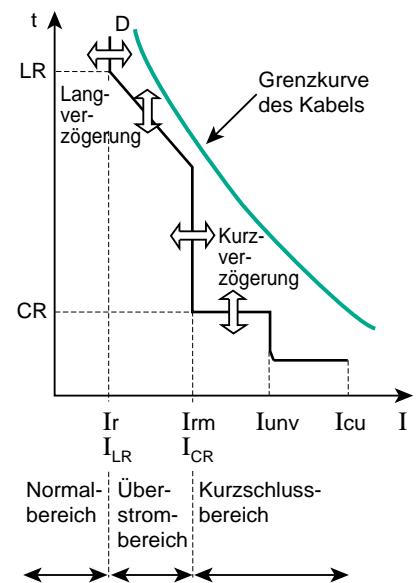


Abb. 9: Auslösekennlinie eines elektronischen Leistungsschalters.

2. Oberwellenströme

Infolge der Entwicklung der Verbraucher (insbesondere der zunehmenden Verwendung von Stromrichtern) sind die in den Verteilungsnetzen angetroffenen Ströme seit langem keine perfekten 50-Hz-Sinuswellen mehr. In bezug auf die Messung haben diese Ströme insbesondere im Normalbetrieb bei der Überprüfung der thermischen Auswirkungen einen störenden Einfluss. Bei Fehlerströmen über 10 In ist ihr Einfluss vernachlässigbar.

Theoretische Grundlagen der Oberwellenströme

Nichtlineare und Oberwellen erzeugende Lasten

Das Ohmsche Gesetz drückt die Proportionalität (Linearität) zwischen dem Strom und der Spannung für Sinuswellen bei Netzfrequenz aus. Gewisse (sogenannt nichtlineare) Verbraucher deformieren die sinusförmige Stromwelle und folglich auch die Spannungswelle. Diese Deformation kann mit Hilfe einer Fourier-Zerlegung analysiert werden, woraus sich die Oberwellen ergeben, die der Grundwelle überlagert sind und diese deformieren.

Fourier-Zerlegung

Jeder in einem elektrischen Netz auftretende Strom und jede Spannung können durch die Überlagerung einer sinusförmigen Grundwelle mit der Netzfrequenz mit einer Anzahl von sinusförmigen Oberwellen mit Mehrfachen der Netzfrequenz dargestellt werden. Der Ausdruck dieser Größen ist durch die Fourier-Zerlegung der Strom- oder Spannungsfunktion $y(t)$ gegeben:

$$y(t) = Y_0 + Y_1 \sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi_1) + \sum_{n=2}^{\infty} Y_n \sqrt{2} \sin(n\omega t - \varphi_n)$$

Y_0 = Amplitude der Gleichstromkomponente.

Y_1 = Effektivwert der sinusförmigen 50-Hz-Komponente (Grundwelle).

ω = Kreisfrequenz der Grundwelle.

φ_1 = Phasenverschiebung der Grundwelle.

Y_n (für $n > 1$) = Effektivwert der Oberwelle der n -ten Ordnung.

$n\omega$ = Kreisfrequenz der n -ten Oberwelle.

φ_n = Phasenverschiebung der n -ten Oberwelle.

Ohmsches Gesetz

Wenn nichtlineare Verbraucher vorhanden sind, gilt das Ohmsche Gesetz lediglich zwischen dem Strom und der Spannung derselben Ordnung « n » mit einem Impedanzwert für eine Kreisfrequenz, die dem n -fachen der Kreisfrequenz der Grundwelle entspricht:

$$U_n = Z(n\omega) \times I_n$$

Man kann sagen, dass für jede Oberwellenordnung die Deformation der Stromwelle eine entsprechende Deformation der Spannungswelle bewirkt, deren Amplitude und Phase vom Wert der Impedanz für jede Oberwellenfrequenz abhängen. Zwischen den Effektivwerten dieser beiden Wellen gibt keine einfache Beziehung mehr.

Effektivwert des deformierten Stroms

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_n^2 + \dots}$$

Dieser kann ebenfalls durch die verschiedenen Strom-Oberwellenanteile h_{ni} : I_n/I_1 dargestellt werden:

$$I_{\text{eff}} = I_1 \sqrt{1 + h_{21}^2 + h_{31}^2 + \dots + h_{n1}^2} \dots = I_1 \sqrt{1 + D_i^2}$$

was den Stromverzerrungsgrad D_i zeigt.

Scheitelfaktor des Stroms

Für die Grundwelle:

I_1 Scheitelwert: $\sqrt{2} I_1$, wobei der

Scheitelfaktor $\sqrt{2}$ beträgt.

Für den deformierten Gesamtstrom:

$$I_{\text{Scheitel}} = K I_{\text{eff}} = K \cdot I_1 \sqrt{1 + D_i^2}$$

Auswirkungen der Oberwellen

■ Auswirkung des Scheitelfaktors:

□ Wenn der Scheitelfaktor grösser als $\sqrt{2}$ ist, besteht die Gefahr einer ungewollten Auslösung, wenn die Schutzeinrichtungen den I_{eff} aufgrund von I_{Scheitel} bestimmen.

□ Wenn der Scheitelfaktor kleiner als $\sqrt{2}$ ist, besteht die Gefahr einer Überhitzung infolge Nichtauslösung dieser Schutzeinrichtungen.

■ Erwärmungen

Für einen bestimmten Verbraucher mit dem Nennstrom I_n bei 50 Hz erhöht sich der Effektivwert des Stroms in den Leitern, weil er mit $\sqrt{1 + D_i^2}$ multipliziert wird, woraus sich folgendes ergibt:

□ Zusätzliche Verluste und somit

Überhitzung der Transformatoren,

Kabel und Generatoren.

□ Magnetischer Schwund, Erwärmungen und Störmomente in rotierenden Maschinen.

■ Fließen von hohen Strömen im

Neutralleiter mit Oberwellen der

3. Ordnung und Mehrfachen von 3.

Deshalb müssen für den Leiterschutz

die thermischen Auslöser den

Effektivwert des Stroms in Betracht

ziehen.

Dem Leser, der sich speziell für

Oberwellen interessiert, wird das

Technische Heft Nr. 152 empfohlen.

Erzeuger von Oberwellenströmen

Gleichrichter

Dreiphasen-Gleichrichterbrücken in Graetz-Schaltung erzeugen Oberwellen.

Dieser Gleichrichtertyp, der in allen

industriellen Apparaten relativ weit

verbreitet ist, da er sehr preisgünstig

ist, verseucht jedoch das Stromversorgungsnetz.

Diese Gleichrichter findet man in zahlreichen industriellen

Anwendungen, wie Antrieben,

Umrichtern und Informatik-Stromversor-

gungen. Wegen der zunehmenden

Verbreitung von impulsgesteuerten

Umrichter in Anwendungen der

Büroautomation und von Fluoreszenz-

lampen mit elektronischen Vorschaltge-

räten trifft man sie auch im tertiären

Sektor an.

Die Form des Eingangsstroms hängt

stark vom Vorhandensein einer

Glättungsdrossel ab. Bei den meisten

Gleichrichtern ist eine solche nicht

vorhanden.

■ Beispiel 1: (siehe Abb. 10)

Eingangsstrom eines Dreiphasen-Gleichrichters (ungesteuerte Graetz-Schaltung).

Die Fourier-Zerlegung des in der Abbildung 10 gezeigten Stroms ergibt (in Prozenten der Amplitude der Grundwelle mit der entsprechenden Phasenverschiebungen):

h_1	(50 Hz)	=	100%
h_5	(250 Hz)	=	33% (180°)
h_7	(350 Hz)	=	2,7%
h_{11}	(550 Hz)	=	7,3% (180°)
h_{13}	(650 Hz)	=	1,6%
h_{17}	(850 Hz)	=	2,6% (180°)

Gesamtverzerrungsfaktor:

$$D = \sqrt{h_3^2 + h_5^2 + h_7^2 + \dots + h_{17}^2} = 6 \%$$

$$I_{\text{eff}} = 106\% \text{ von } I_{h_1}$$

$$I_{\text{max}} / \sqrt{2} = 78\%.$$

Dies bedeutet, dass ein elektronischer Auslöser, der auf der Messung des Effektivwertes aufgrund des Scheitelstroms beruht, einen Effektivwert von 78% anstelle von 106% messen würde. In diesem Fall würde somit ein ungenügender Schutz der Anlage vorliegen.

■ Beispiel 2: (siehe Abb. 11)

Eingangsstrom des Dreiphasen-Gleichrichters des Regelantriebs eines Asynchronmotors.

Die Fourier-Zerlegung des in der Abbildung 11 gezeigten Stroms ergibt (in Prozenten der Amplitude der Grundwelle mit der entsprechenden Phasenverschiebungen):

h_1	(50 Hz)	=	100%
h_5	(250 Hz)	=	85% (180°)
h_7	(350 Hz)	=	72%
h_{11}	(550 Hz)	=	41% (180°)
h_{13}	(650 Hz)	=	27%
h_{17}	(850 Hz)	=	8% (180°)

Gesamtverzerrungsfaktor hier:

$$D = \sqrt{h_3^2 + h_5^2 + h_7^2 + \dots + h_{15}^2} = 58 \%$$

$$I_{\text{eff}} = 158\% \text{ von } I_{h_1}$$

$$I_{\text{max}} / \sqrt{2} = 203\%.$$

Dies bedeutet, dass ein elektronischer Auslöser, der auf der Messung des Effektivwertes aufgrund des Scheitelstroms beruht, einen Effektivwert von 203% anstelle von 158% messen würde. In diesem Fall würde somit ein übermäßiger Schutz der Anlage vorliegen.

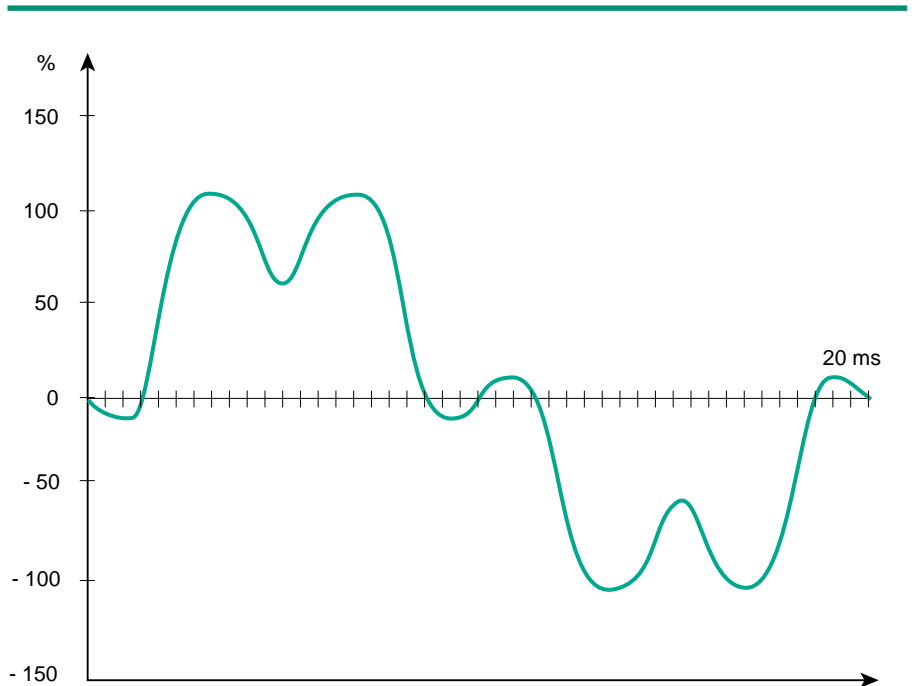


Abb. 10: Beispiel 1: Gleichrichter

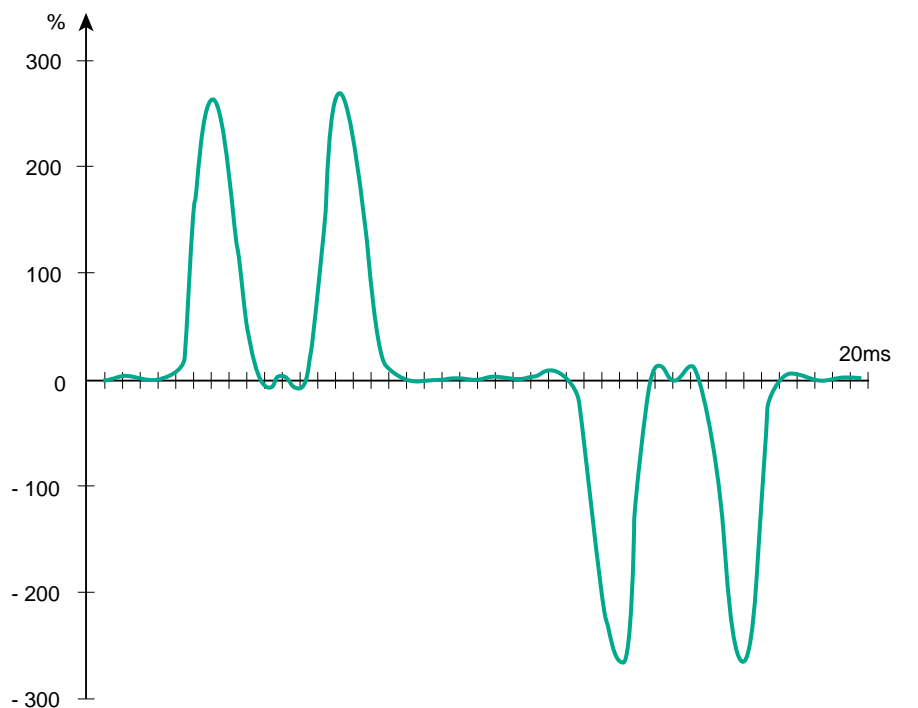


Abb. 11: Beispiel 2: Regelantrieb mit variabler Frequenz

Normale Fluoreszenzbeleuchtung

Im Normalbetrieb sind Oberwellen feststellbar (siehe Abb. 12).

Die Fourier-Zerlegung des Phasenstroms ergibt:

h_1	(50 Hz)	=	100%
h_3	(150 Hz)	=	35%
h_5	(250 Hz)	=	27% (180°)
h_7	(350 Hz)	=	16,1% (180°)
h_9	(450 Hz)	=	2,2% (180°)
h_{11}	(550 Hz)	=	3,4%
h_{13}	(650 Hz)	=	1,1%

$D = 42,6\%$

$I_{\text{eff}} = 199\%$ von $I_{h_1} = 39 \text{ A}$

Dabei ist zu bemerken, dass, obwohl es sich um verteilte einphasige Verbraucher handelt, der Effektivwert des Stroms im Neutralleiter infolge der Oberwellen der 3. Ordnung und Mehrfachen von 3, obwohl er gleich null sein sollte, 33 A beträgt.

Behandlung der Oberwellenströme durch die elektronischen Auslöser von NS-Leistungsschaltern

Die ersten elektronischen Auslöser waren analog. In bezug auf den Messkreis bestand die Lösung darin, hinter dem Vollwellengleichrichter ein einfaches RC-Filter anzuordnen. Diese Technik genügte den Anforderungen, da die Oberwellenerscheinung noch nicht von Bedeutung waren.

Die technische Entwicklung, insbesondere die integrierten Lösungen vom ASIC-Typ, der eine grosse Zahl von Komponenten integriert, hat eine

schnelle und sehr feine Abtastung des Signals ermöglicht. Die heutige Anwendung eines digitalen Filters gestattet eine einfache Berechnung des Effektivwertes und Modellierung der Wärmeleichung des Leiters (siehe Abschnitt 1).

Die Problematik besteht somit darin, die Abtastfrequenz festzulegen, um einen genauen Effektivwert zu erhalten. Zum Berechnen des wirklichen Effektivwertes eines mit Oberwellen bis zur n-ten Ordnung behafteten Signals von

der Grundfrequenz f besagt das Shannonsche Abtasttheorem, dass dieses Signal mit der Frequenz $2n \cdot f$ abgetastet werden muss.

Die praktisch für die elektronischen Auslöser gewählte Abtastfrequenz beträgt 1600 Hz, welche die Erfassung von Oberwellen bis zur 16-ten Ordnung gestattet.

Die obigen Beispiele haben gezeigt, dass Oberwellenströme oberhalb der 16-ten Ordnung absolut vernachlässigbar sind.

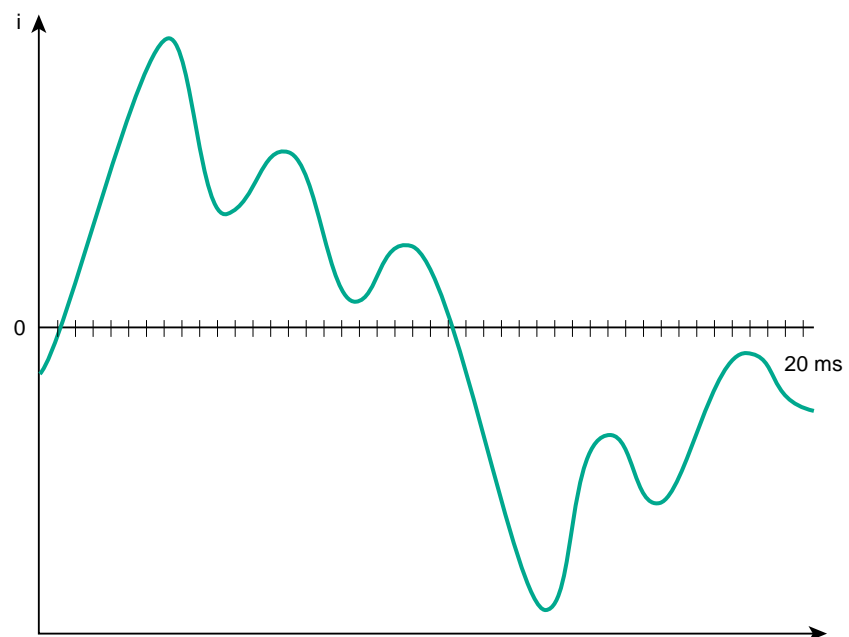


Abb. 12: Fluoreszenzbeleuchtung.

3. Impuls- und zyklische Ströme

Für gewisse Abgänge besteht das Hauptproblem darin, zwischen dem normalen Einschaltstrom und einem Fehlerstrom zu unterscheiden. Die Lasten, die Probleme dieser Art bieten, sind vor allem Verbraucher wie NS/NS-Transformatoren, Motoren, Glühlampen, Fluoreszenzlampen usw. Ein weiterer zu lösender Fall ist der richtige Schutz der Kabel, die Verbraucher mit zyklischem Strom speisen. In diesem Kapitel wollen wir diese beiden Fälle behandeln.

Beispiele von Einschaltströmen

NS/NS-Transformatoren

Der Primärkreis einer Transformators ist eine Induktivität mit magnetischem Kreis. Beim Einschalten können zwei Erscheinungen auftreten:

- Erstens ein Ladestrom (Ausgleichsvorgang) einer LR-Schaltung (welche die Eigenschaften des Primärkreises im Nomalzustand hat).
- Zweitens, wegen des Vorhandenseins des sättigbaren magnetischen Kreises, eine hohe Stromspitze in Funktion des Einschaltmomentes infolge der magnetischen Sättigung. Somit stellt man eine Einschaltkurve wie in der Abbildung 13 gezeigt fest, die aus einer Reihe von Scheitelwerten besteht, die nach einem Exponentialgesetz abnehmen.

Der erste Scheitelwert des Stroms erreicht oftmals das 10- bis 15fache des Bemessungsstroms des Transformators und sogar bei kleinen Leistungen (≤ 10 kVA) bis zu mehr als das 20fache des Nennstroms). Der Einschaltstrom nimmt mit einer Zeitkonstante von der Grössenordnung von einigen zehn Millisekunden sehr rasch ab.

Beispiel: Bei einem NS/NS-Transformator von 50 kVA beträgt der Spitzenwert etwa $15 I_n$ und die Zeitkonstante des Vorgangs 20 ms (siehe Abb. 13).

Motoren

90% der verwendeten Motoren sind Asynchronmotoren. Dieser Motortyp hat einen Einschaltstromverlauf (bei

Direktanlauf) gemäss Abbildung 14. Nach der Einschaltspitze (8 bis $12 I_n$) folgt ein Anlaufstrom (von 5 bis $8 I_n$) (siehe Abb. 14).

Fluoreszenzbeleuchtung

Fluoreszenzlampen nehmen beim Einschalten ebenfalls einen sehr grossen thermischen Strom auf.

Impulsgesteuerte Umrichter

Impulsgesteuerte Umrichter, zum Beispiel am Eingang von Informatiklasten, stellen beim Einschalten Stromspitzen von der Grössenordnung von $10 I_n$ dar (Ladung eines Kondensators über einen Gleichrichter).

Ferner ist zu bemerken, dass zahlreiche Verbraucher nach einer kurzen Abschaltung einen Einschaltstrom haben, der grösser ist als der Strom beim ersten Einschalten. Das klassische Beispiel ist die Kondensatornbatterie, die geladen bleibt. Die digitale Elektronik hat die Realisierung einer Kurzverzögerungsschutzes gestattet, der sich gut für die Unterscheidung zwischen Impulsströmen und Kurzschlussströmen eignet (siehe Abb. 5).

Behandlung der Impulsströme durch die elektronischen Auslöser von NS-Leistungsschaltern

Untersuchen wir nun, wie ein elektronischer Auslöser die Ausgleichsströme behandelt, die höher sind als der

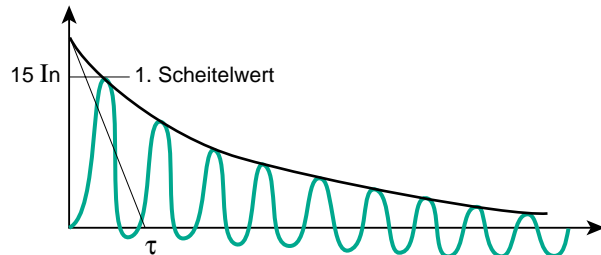


Abb. 13: Einschalten eines Transformators.

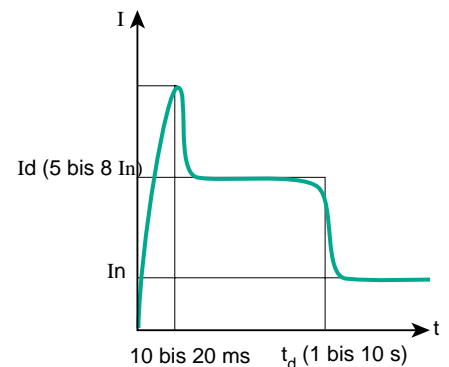


Abb. 14: Einschalten eines Motors.

Kurzverzögerungs-Auslösewert. Wenn der Strom den Auslösewert I_m übersteigt, berechnet der Auslöser mit Hilfe der IIR-Filterung über eine sehr kurze Periode (einige ms) den Effektivwert des Stroms, wodurch dieser Überstrom «geglättet» wird. Es handelt sich um eine Art Zeitverzögerung, die von der Energie des Impulsstroms abhängt.

■ Wenn es sich um einen normalen Impulsstrom handelt, der während sehr kurzer Zeit eine hohe Leistung liefert und hierauf schnell abklingt, wird der Auslösewert nicht erreicht. Die Berücksichtigung der Energie der Spitze (und nicht ihres Scheitelwertes) ermöglicht das Durchlassen dieses Ausgleichstroms, selbst wenn er mehrere Perioden dauert, während ein

magnetischer Auslöser angesprochen hätte (siehe Abb. 15).

■ Wenn sich der Ausgleichsstrom als ein bestehenbleibender Fehler erweist (siehe Abb. 16), erfolgt die Inkrementierung des Filters der Kurzverzögerungsfunktion sehr rasch, was eine schnelle Abschaltung nach dem Überschreiten des Auslösewertes bewirkt. Diese Technik ermöglicht ferner eine Überwachung spezieller Fehlerströme, wie zum Beispiel des Stroms, der beim Blockieren des Rotors eines Elektromotors auftritt.

Lasten mit zyklischen Strömen

Der intermittierende Betrieb eines Motors oder einer Last bewirkt rasche Erwärmungen, insbesondere wenn die Einschaltströme hoch sind.

Speisekabel sind denselben Strömen unterworfen, wie die Lasten, nicht aber unbedingt denselben Erwärmungen (verschiedene thermische Zeitkonstanten). Für bestimmte Verbraucher gibt es spezielle Schutzvorrichtungen.

Der Wert des Überstroms, den ein Kabel aushalten kann, hängt von der Anfangserwärmung und der Abkühlungszeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Überströmen ab.

So kann ein Kabel für die von ihm übertragene Energie dimensioniert werden, wenn der Zyklus kürzer ist als die thermische Zeitkonstante.

Aufgrund des Modells der Wärme Gleichung eines Kabels kann die zyklische Erwärmung eines Kabels durch eine Kurve gemäss Abbildung 17 dargestellt werden.

Dies ist zum Beispiel der Fall für Schweißmaschinen, kontaktlose Wellenfolgeschütze oder für Motoren mit zyklischem Anlauf.

Behandlung der zyklischen Ströme durch die elektronischen Auslöser von NS-Leistungsschaltern

Auslöser mit digitaler Elektronik berücksichtigen den Abkühlungszustand und führen eine Feinüberwachung der thermischen Beanspruchung der Leiter durch, wie dies am Ende des ersten Kapitels erklärt worden ist.

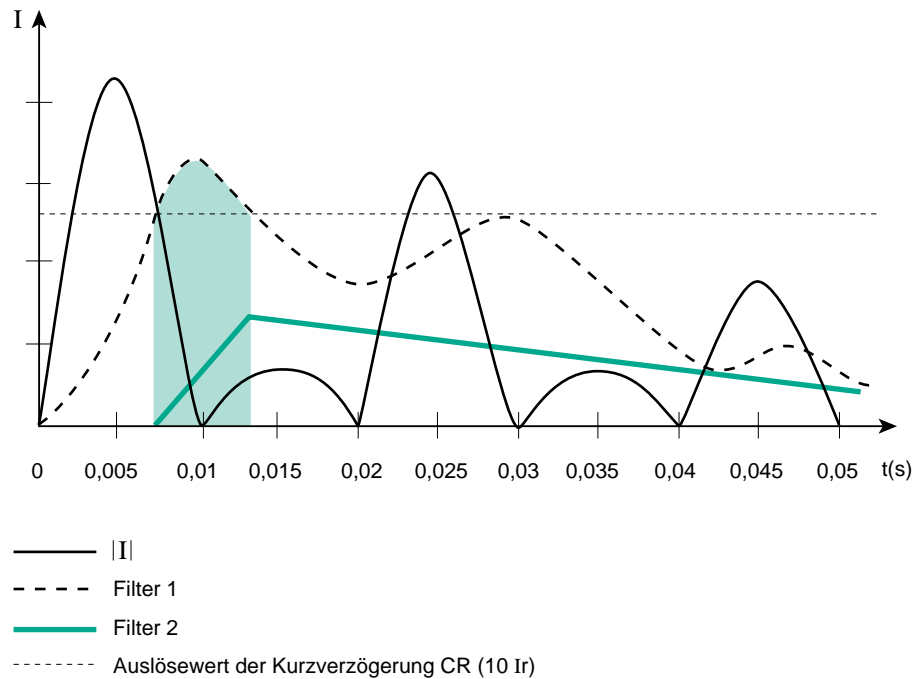


Abb. 15: Durch «Glättung» des IIR-Filters Impulsstrom aufgelöster Impulsstrom.

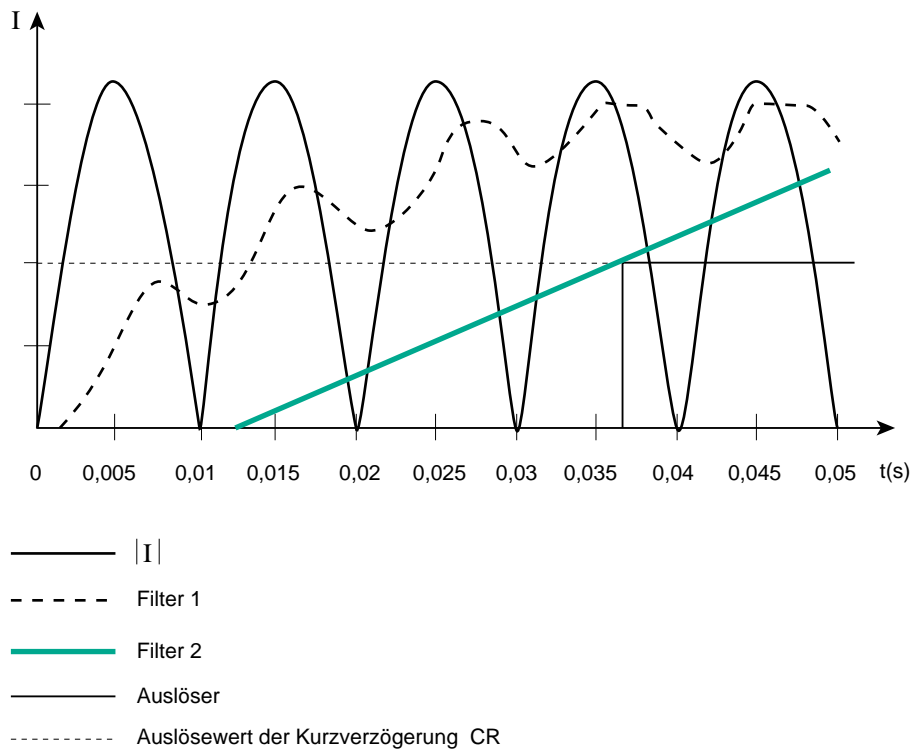


Abb. 16: Bestehenbleibender Fehler.

Unabhängig von den Eigenschaften des zyklischen Stroms, wie I/I_n , Spieldauer und relative Einschaltzeit, wird das Kabel geschützt, wenn der Bemessungsstrom der Schutzeinrichtung (I_r) stimmt. Um jedoch das Kabel maximal auszunutzen, ohne dass der Leistungsschalter abschaltet, und die thermische Beanspruchung bei einem Fehler zu begrenzen, müssen die weitgehenden Einstellmöglichkeiten des Kurz- und des Langverzögerungsschutzes angewendet werden.

Die Abbildung 18 zeigt als Beispiel die folgenden beiden extremen Fälle:
 ■ I/I_r hoch, jedoch von kurzer Dauer
 ■ I/I_r nahe bei 1, jedoch von langer Dauer
 Hier kann man wie bei den Einschaltströmen die Überlegenheit der elektronischen Auslöser feststellen, und dies wegen der Kurzverzögerungsfunktion, vor allem jedoch wegen der höheren Leistungsfähigkeit seiner thermischen Funktion im Vergleich zum Bimetall.

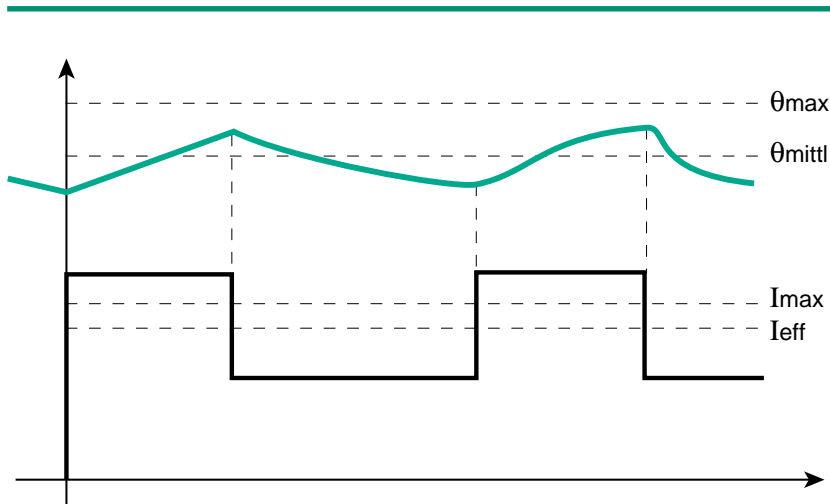


Abb. 17: Zyklische Erwärmung eines Leiters durch einen Dauerstrom, dem ein zyklischer Strom überlagert ist.

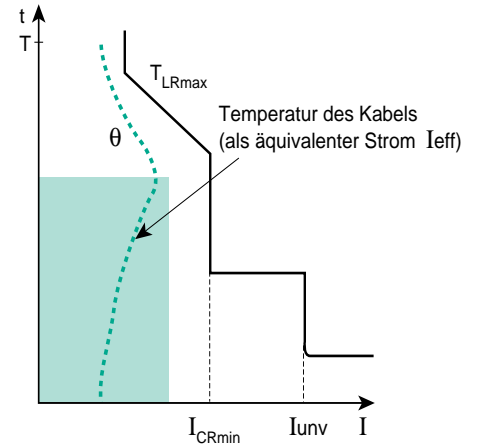
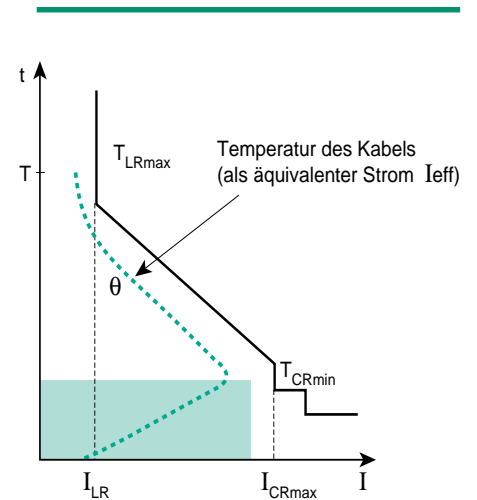


Abb. 18: Einstellungen der Langverzögerung (LR) und der Kurzverzögerung (CR) für zyklische Lastströme, die hoch und kurz sowie niedrig und langdauernd (Beharrungszustand) sind.

4. Elektronische Leistungsschalter: erweiterte Möglichkeiten

Einstellungsmöglichkeiten der elektronischen Leistungsschalter

Hinsichtlich der deformierten und nicht konstanten Ströme vereinfachen die elektronischen Auslöser die Aufgabe des Projektanten und des Betreibers von elektrischen Anlagen. Dies insbesondere dank ihrer Befähigung, die echten Effektivwerte der Ströme zu berücksichtigen und Überströme zu beherrschen, jedoch auch dank der Flexibilität und des Umfangs der Einstellungsmöglichkeiten.

Oberwellenströme

Infolge der genauen Berücksichtigung der Wirkungen der Oberwellenströme ist keine spezielle – auf diese Ströme bezogene – Einstellung des Auslösers erforderlich.

Dank der Möglichkeit, den Effektivwert des Stroms durch Messung mit Hilfe der Elektronik in Echtzeit zu kennen, kann gegebenenfalls die Einstellung von I_R verfeinert werden. Zudem gestattet es die Digitaltechnik, diese Information ohne weiteres an ein – lokales oder entferntes – Amperemeter oder Balkenschaubild zu übermitteln.

Impulsströme

Die von der Elektronik gebotene Möglichkeit, Impulsströme von Fehlerströmen zu unterscheiden, gestattet einen besseren Schutz der Kabel bei gleichzeitiger Vermeidung von ungewollten Abschaltungen.

Zyklische Ströme

Die Anpassung des Stroms I_R an die genaue Dimensionierung der Leiter ist vollständig mit einem Betrieb mit normalen Überströmen kompatibel, indem der Kurz- und der Langverzögerungsschutz entsprechend eingestellt werden.

Auslösekennlinien

Einer der Vorteile der elektronischen Leistungsschalter besteht darin, dass sie einen «universellen» Schutz bieten. Mit einem einzigen Auslöser können dank der Flexibilität und des Umfangs der Einstellungsmöglichkeiten sämtliche

Bedürfnisse des Betreibers berücksichtigt werden.

Die Elektronik bietet effektiv breite Einstellungsmöglichkeiten für den Auslösewert und die Zeitverzögerung.

Ausser der Möglichkeit, das Problem der Anlaufströme und der zyklischen Ströme einwandfrei zu lösen, ist dies ein eindeutiger Vorteil bei der Anwendung der Zeitselektivität. Dasselbe gilt für die Möglichkeit, mit einem einzigen Gerät einen Transformator, ein Kabel oder einen Generator zu schützen (siehe als Beispiel die Abbildung 19).

Beiträge der Digitaltechnik zur Betriebssicherheit

Die Digitaltechnik, die hochintegrierte ASICs verwendet, gestattet die

Realisierung vielfältiger Mess-, Schutz-, Leit- und Kommunikationsfunktionen. Diese Technik hat ferner eine höhere Zuverlässigkeit und Unempfindlichkeit (elektromagnetische Verträglichkeit) zur Folge als die diskreten Techniken.

Vielfältige Funktionen

Ausser den Funktionen des Schutzes der aktiven Leiter gegen Überströme und Kurzschlüsse sind weitere Funktionen integriert oder integrierbar, wie zum Beispiel:

- Erdschlusschutz (Ground Fault Protection, GFP), welche Funktion für Installationen in den USA oft verlangt wird.

- Lastüberwachung durch Berechnung des Verhältnisses I_{eff}/I_{LR} , das dem Anwender einen Hinweis auf den Lastpegel des betreffenden Abgangs liefert.

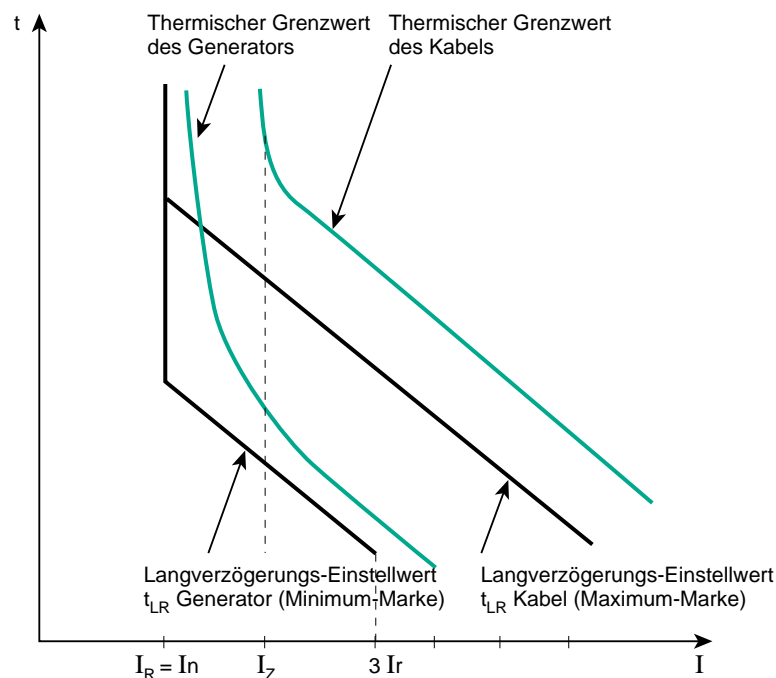


Abb. 19: Langverzögerungs-Auslösekennlinien eines elektronischen Leistungsschalters, der ein Kabel oder einen Generator schützt.

- Unterbrochener Kurzschlussstrom.
- Anzahl Schaltspiele (für die Wartung nützlich).

Zuverlässigkeit

Der Leistungsschalter ist es sich schuldig, ein Gerät von hoher Zuverlässigkeit zu sein. Deshalb verfügt die eingebaute Elektronik über eine Selbstüberwachungs-Funktion, die eine Störung des Mikroprozessors oder eine anormale Temperaturerhöhung meldet. Zudem muss er die in den Normen IEC 801 und IEC 1000 festgelegten Prüfungen bestehen, welche die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) der Geräte festlegen, insbesondere die Unempfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Feldern.

Kommunikation über einen Bus

Die Digitaltechnik und die Stellung des Leistungsschalters in der elektrischen Anlage bieten die Möglichkeit, ohne weiteres am Bus sämtliche Parameter

verfügbar zu machen, die für einen einwandfreien Betrieb des Netzes relevant sind. Die eingebaute digitale Elektronik ermöglicht eine Übermittlung an die Leitsysteme der Stromversorgung und der Überwachung. Die übermittelten Daten entsprechen Informationen über das Umfeld des Leistungsschalters:

- Position der Einstellungen
 - Stärke der Phasen- und Neutralleiterströme
 - Überschreitung des Kontrollschwellwertes der Last
 - Überlast-Alarm
 - Ursache einer Abschaltung
- Die Verwendung dieser Informationen zum Erstellen von Protokollen bietet dem Betreiber und/oder dem Verwalter die Möglichkeit, seine Anlage besser zu überwachen.

Normen für NS-Leistungsschalter

Leistungsschalter vom Industrie-Typ entsprechen der Norm IEC 947-2.

Das zunehmende Gewicht der Umweltprobleme, insbesondere der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV), hat die Normierungsstellen veranlasst, in die Leistungsschalter-Norm Empfehlungen in bezug auf diese Erscheinungen aufzunehmen (siehe Abb. 20).

Die von den elektronischen Leistungsschaltern gebotenen neuen Möglichkeiten

Die von der Norm gebotene Garantie
Die Einhaltung der Norm IEC 947-2, insbesondere des Anhangs F und eine sachdienliche Auslegung, bieten Gewähr für die Zuverlässigkeit eines elektronischen Leistungsschalters. Zudem garantieren die von der Norm IEC 947-2 verlangten Prüfungen dem Projektanten und dem Anwender der Anlage eine einwandfreie Eignung für die Schutzfunktion (für weitere Einzelheiten siehe Technisches Heft Nr. 150).

Prüfung	Störungen	Durchgeführte Prüfungen
F.4.1	Nicht-sinusförmige Ströme	3 Prüfungen mit dem Scheitelfaktor ≈ 2 H3 $\approx 80\%$; H5 $\approx 50\%$ und H3 $\geq 60\%$ + H5 $\geq 14\%$ + H7 $\geq 7\%$.
F.4.2	Täler und Unterbrechungen	Reduktion des Stroms um 30%; 60%; 100% während 0,5 bis 50 Perioden.
F.4.3	Frequenzänderungen	Frequenzbereich des Leistungsschalters Schritte von 1 Hz.
F.5 F.5.2.2.1 F.5.2.2.2	Ausgleichsvorgänge in Leitern und HF-Störungen IEC 1000-4-4 Schnelle Ausgleichsvorgänge IEC 1000-4-5 Stosswellen	Welle 5/50 ns (Fr: 2, 5 kHz) Pegel 4 kV, Welle 1,2/50 μ s – 6 kV und 8/20 μ s – 3 kA.
F.6	Elektrostatische Störungen IEC 1000-4-2	Berührungsentladung 8 kV
F.7	Störungen durch elektromagnetische Felder IEC 1000-4-3	Von 26 bis 1000 MHz 10 V/m. Amplitudenmodulation 80% 1 MHz.

Abb. 20: Tabelle der EMV-Prüfungen gemäss Anhang F der Norm IEC 947-2.

5. Schlussfolgerung

Die NS-Leistungsschalter ≥ 250 A mit elektronischem Auslöser sind in jeder Beziehung auf die diversen in den elektrischen Installationen angetroffenen Belastungen angepasst.

Die heutige Leistungsfähigkeit der ASICs hat zahlreiche Fortschritte ermöglicht, so dass:

- trotz der Zunahme der Oberwellenströme der Langverzögerungsschutz den tatsächlichen Effektivwert berücksichtigt,
- das thermische Gedächtnis, das leistungsfähiger ist als ein Bimetall mit indirekter Beheizung, ein bessere

Verfolgung der Kabeltemperatur ermöglicht, insbesondere bei zyklischen Betriebslasten,

- die Einstellmöglichkeiten des Kurzverzögerungsschutzes eine bessere Beherrschung der Einschaltströme gestatten als magnetische Auslöser,

- der grosse Bereich der diversen Einstellmöglichkeiten eine Anpassung an Kabel mit verschiedenen Querschnitten und an die Generatoren gestattet.

Ausser diesen Schutzfunktionen bietet die digitale Elektronik dem Leistungs-

schalter die Möglichkeit, Messwerte, Zustände usw. zu übermitteln, Zugriff zur Fernregelung zu nehmen und natürlich ferngesteuert zu werden.

Dadurch sind die modernen Leistungsschalter zu intelligenten Sensoren und Aktoren geworden, die im Rahmen des technischen Elektrizitätsverteilungs-Managements wesentlich dazu beitragen, den Betrieb zu vereinfachen und die Kontinuität der Versorgung zu verbessern.

Bedauerlich ist nur, dass die Elektronik noch zu teuer ist, um für Leistungsschalter unter 250 A verwendet zu werden.

6. Literaturverzeichnis

Normen

- IEC 947-2: Niederspannungsschaltgeräte – 2. Teil: Leistungsschalter.
- IEC 364: Elektrische Installationen in Gebäuden.
- IEC 801: Elektromagnetische Verträglichkeit für Mess- und Steuermittel in industriellen Prozessen.
- IEC 1000: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV).
- IEC 50: Allgemeiner Index des Internationalen Elektrotechnischen Wörterbuchs.

Technische Hefte Merlin Gerin

- Elektrische Störungen in der NS, Technisches Heft Nr. 141 – R. Calvas
- Entwicklung der NS-Leistungsschalter mit der Norm IEC 947-2, Technisches Heft Nr. 150 – E. Blanc
- Unterbrechungsverfahren der Leistungsschalter, Technisches Heft Nr. 154 – R. Morel
- Unterbrechung in der NS durch Strombegrenzung, Technisches Heft Nr. 163 – P. Schueller
- Energieselektivität in Niederspannungsnetzen, Technisches Heft Nr. 167 – R. Morel, M. Serpinet

Weitere Merlin Gerin-Dokumente

- Leitfaden für elektrische Installationen 07/91
- IIR- und FIR-Filter – E. Supitz
- Die gute Elektrizitätsverteilung – D. Fraise
- Die Elektronik in NS-Leistungsschaltern – D. Fraise

Weitere externe Dokumente

- Leitfaden der Elektrotechnik
- J3E Nr. 619
- Der elektrische Kontakt – M. Rival

Schneider Electric

Hauptverwaltung Deutschland:

Schneider Electric GmbH
Gothaer Strasse 29 • D-40880 Ratingen
Postfach 10 12 61 • D-40832 Ratingen
Telefon (0 21 02) 4 04-0
Telefax (0 21 02) 4 04 92 56

Hauptverwaltung Schweiz:

Schneider Electric (Schweiz) AG
Schermenwaldstrasse 11
Postfach • CH-3063 Ittigen
Telefon (031) 917 33 33
Telefax (031) 917 33 55